



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA RURAL

**ESTUDO DAS PERDAS DE ÁGUA PELO SISTEMA DE
ABASTECIMENTO HUMANO NA ZONA DA MATA DE
PERNAMBUCO, BRASIL**

BIANCA MIRELA SILVA DO NASCIMENTO

RECIFE, AGOSTO/2018

INFORMAÇÕES GERAIS

ESTUDO DAS PERDAS DE ÁGUA PELO SISTEMA DE ABASTECIMENTO HUMANO NA ZONA DA MATA DE PERNAMBUCO, BRASIL

Aluno: Bianca Mirela Silva do Nascimento

E-mail: biancanascimento@outlook.com

Telefone: (81) 98641.7291

Relatório de Estágio Supervisionado
Obrigatório vinculado ao Curso de Engenharia
Agrícola e Ambiental (Sede) da Universidade
Federal Rural de Pernambuco, como requisito
para a obtenção do Título de Bacharel em
Engenharia Agrícola e Ambiental.

Professora Orientadora: Rosangela Gomes Tavares
Professor Supervisor: Valmir Cristiano Marques de
Arruda

RECIFE, AGOSTO/2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE
Biblioteca Central, Recife-PE, Brasil

N244e Nascimento, Bianca Mirela Silva do
Estudo das perdas de água pelo sistema de abastecimento humano na Zona da Mata de Pernambuco, brasil / Bianca Mirela Silva do Nascimento. – 2018.
35 f. : il.

Orientadora: Rosangela Gomes Tavares.
Coorientador: Valmir Cristiano Marques de Arruda.
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Tecnologia Rural, Recife, BR-PE, 2018.
Inclui referências.

1. Abastecimento de água 2. Água - Desperdício 3. COMPESA
I. Tavares, Rosangela Gomes, orient. II. Arruda, Valmir Cristiano Marques de, coorient. III. Título

CDD 628.1

RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO OBRIGATÓRIO

ESTUDO DAS PERDAS DE ÁGUA PELO SISTEMA DE ABASTECIMENTO HUMANO NA ZONA DA MATA DE PERNAMBUCO, BRASIL

Nome e assinatura do aluno

Nome e assinatura do orientador

Nome e assinatura do supervisor (se for o caso)

RECIFE, AGOSTO/2018

AGRADECIMENTOS

Aos meus avós e meus pais, pelo amor, incentivo e apoio incondicional.

À professora Rosinha, ao Professor Valmir e Rodrigo pela orientação.

A Rafael, por todo amor e toda a paciência, muito obrigada por tudo.

A Ilana, por toda a ajuda, paciência e amizade.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização geográfica da Zona da Mata no Estado de Pernambuco	10
Figura 2. Organograma dos procedimentos metodológicos da pesquisa.....	18
Figura 3. Série histórica referente aos meses de Junho e Dezembro dos anos de 2008 a 2017.	21
Figura 4. Dados técnicos referentes a todos os meses do ano de 2017.....	23
Figura 5. Representação gráfica da posição dos autovetores das variáveis.....	28
Figura 6. Scores	29

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Valores da série histórica dos dados técnicos.....	21
Tabela 2. Análise dos dados técnicos referentes ao ano de 2017.	22
Tabela 3. Indicadores técnico-operacionais para os municípios da Zona da Mata de Pernambuco.....	24
Tabela 4. Indicadores socioeconômicos e climático para os municípios da Zona da Mata de Pernambuco.	25
Tabela 5. Representação dos autovalores	26
Tabela 6. Representação dos autovetores.....	27

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Municípios compreendidos pelas microrregiões da Zona da Mata.....	11
Quadro 2. Indicadores utilizados na série histórica	16
Quadro 3. Indicadores socioeconômicos e climático.....	17

LISTA DE ABREVIATURAS

ACP – Análise de Componentes Principais

CAESB – Companhia de Saneamento do Distrito Federal

COMPESA – Companhia Pernambucana de Saneamento

COPANOR – Companhia de Serviços de Saneamento Integrado do Norte e do Nordeste de Minas Gerais

CP – Componentes Principais

CPC – Consumo *Per Capita* de Água

DD – Densidade Demográfica

EMBASA – Empresa Baiana de Águas e Saneamento

IM – Índice de Micromedição

IPF – Índice de Perdas no Faturamento

IPA – Índice de Perdas de Água

IPD – Índice de Perdas na Distribuição

IVDE – Índice de Volume Distribuído por Economia

IDHM – Índice de Desenvolvimento Humano Médio

PA – População Abastecida

PCA – *Principal Component Analysis*

PRECIP – Precipitação

PIB – Produto Interno Bruto

RMPC – Renda Média *Per Capita*

SIP – Sistema de Informações Operacionais

VD – Volume Distribuído

VDE – Volume Distribuído por Economia

SUMÁRIO

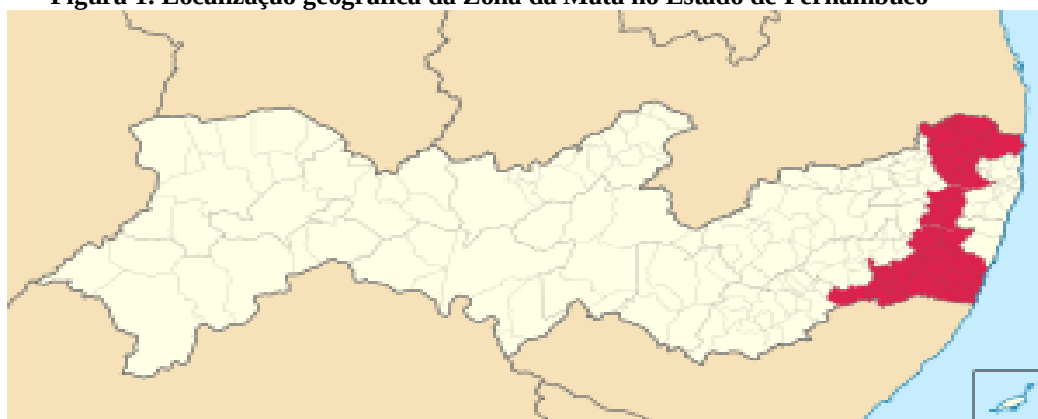
1. INTRODUÇÃO	10
1.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	10
1.2 OBJETIVOS	11
1.3 JUSTIFICATIVA	11
2. EMPRESA EM ESTUDO	13
3. REFERENCIAL TEÓRICO	14
4. METODOLOGIA	16
4.1 DEFINIÇÃO DOS INDICADORES	16
4.1.1 INDICADORES TÉCNICOS.....	16
4.1.2 INDICADORES SOCIOECONÔMICOS E CLIMÁTICO.....	16
4.1.3 ESTRUTURA METODOLÓGICA.....	17
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	21
5.1 SÉRIE HISTÓRICA DOS DADOS TÉCNICOS	21
5.2 ANÁLISE DAS PERDAS DE ÁGUA EM 2017	22
5.3 CORRELAÇÕES DAS PERDAS DE ÁGUA COM INDICADORES SOCIOECONÔMICOS E CLIMÁTICO	24
6. CONCLUSÕES	30
7. REFERÊNCIAS.....	31

1. INTRODUÇÃO

1.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A pesquisa foi realizada na mesorregião da Zona da Mata de Pernambuco (Figura 1). Esta mesorregião é formada por 42 municípios e possui população estimada para 2017 de 1.065.648 habitantes, segundo o IBGE (2017). Com área de 7821,01 km² e densidade demográfica de 6361,19 hab./km², limita-se ao norte com o estado da Paraíba, ao sul com o estado de Alagoas e ao oeste com a mesorregião do agreste de Pernambuco.

Figura 1. Localização geográfica da Zona da Mata no Estado de Pernambuco



Fonte: Google

A Zona da Mata apresenta renda média *per capita* anual de aproximadamente R\$ 28.003,00, Produto Interno Bruto (PIB) médio de R\$ 873.280.604,3, Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) médio de 0,599 e taxa média de urbanização de 71,09% (BDE, 2015). Cenário justificado por apresentar economia baseada no cultivo de cana-de-açúcar e recentemente por indústrias alimentícias e automotivas. Esta mesorregião é dividida em três microrregiões: Vitória de Santo Antão, Mata Setentrional Pernambucana e Mata Meridional Pernambucana (Quadro 1).

Quadro 1. Municípios compreendidos pelas microrregiões da Zona da Mata

Microrregiões	Municípios
Vitória de Santo Antão	Chã de Alegria, Chã Grande, Glória do Goitá, Pombos, Vitória de Santo Antão
Mata Setentrional Pernambucana	Aliança, Buenos Aires, Camutanga, Carpina, Condado, Ferreiros, Itambé, Itaquitinga, Lagoa do Carro, Lagoa de Itaenga, Macaparana, Nazaré da Mata, Paudalho, Timbaúba, Tracunhaém, Vicência
Mata Meridional Pernambucana	Água Preta, Amaraji, Barreiros, Belém de Maria, Catende, Cortês, Escada, Gameleira, Jaqueira, Joaquim Nabuco, Maraiá, Palmares, Primavera, Quipapá, Ribeirão, Rio Formoso, São Benedito do Sul, São José da Coroa Grande, Sirinhaém, Tamandaré, Xexéu

A Zona da Mata é cortada por três principais rios do estado pernambucano: Ipanema, Capibaribe e o Ipojuca. A vegetação predominante é a mata atlântica, com árvores de médio e grande porte, algumas gramíneas e possui uma fauna muito rica. O relevo é predominantemente ondulado e o clima que predomina é o tropical.

1.2 OBJETIVOS

A análise tem como objetivo avaliar o índice de perdas de água nos sistemas de abastecimento humano na região da Zona da Mata do estado de Pernambuco, com base em um estudo temporal de dez anos (2008 – 2017), além de identificar os principais fatores socioeconômicos e técnico-operacionais determinantes para as perdas de água durante este processo de abastecimento. A pesquisa também visa contribuir para a gestão sustentável dos recursos hídricos do estado e auxiliar os gestores municipais da região estudada na tomada de decisão por soluções eficazes.

1.3 JUSTIFICATIVA

Uma das principais razões para a ineficácia das empresas gestoras de abastecimento de água consiste nas perdas de água pelo abastecimento humano, as quais ocorrem, sobretudo, nas etapas de transporte e tratamento (COMPESA, 2010). As perdas de água dificultam a eficiência do serviço prestado e oneram o sistema operacional. Além disto, trazem muitos prejuízos financeiros, econômicos,

técnicos, operacionais e socioambientais, comprometendo a saúde pública e a atuação da empresa responsável pelo abastecimento.

No Brasil, o desperdício da água se inicia a partir da contaminação dos mananciais urbanos e continua pelos vazamentos em adutoras, reservatórios e redes de distribuição (NETO; BEZERRA, 2016). Especialistas e gestores municipais vêm trabalhando na proposição de metodologias e mecanismos para quantificar e qualificar o sistema, de modo que solucionem esta problemática e proporcionem uma gestão eficiente do serviço prestado. Nesta perspectiva, o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), plataforma criada em 1995 pelo governo brasileiro, disponibiliza informações sobre a prestação de serviços de saneamento no país, inclusive aquelas relacionadas às perdas de água. Segundo o SNIS (2014), o índice de perdas dos sistemas de abastecimento de água no Brasil, no ano de 2012, foi de aproximadamente 36,9%.

2. EMPRESA EM ESTUDO

O estudo se baseou nos relatórios mensais do Sistema de Informações Operacionais (SIP) da Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA), referentes aos anos de 2008 a 2017. Os relatórios são referentes à distribuição de água pela Companhia aos municípios a que atendem.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

A necessidade de implantação de planos efetivos que promovam a redução de perdas de água torna-se ainda mais importante quando se analisa os déficits hídricos nas regiões do Brasil. Além disso, poucas cidades brasileiras possuem sistema de abastecimento com padrão de excelência, acima de 15%, o que comprova um cenário desafiador para os gestores municipais (TRATA BRASIL, 2015). Neste contexto, Neto e Bezerra (2016) verificaram que das 28 prestadoras de serviço de abastecimento de água e esgotamento sanitário, apenas duas apresentaram perdas de água inferiores a 25%, sendo elas a Companhia de Saneamento do Distrito Federal (CAESB) e a Companhia de Serviços de Saneamento Integrado do Norte e Nordeste de Minas Gerais (COPANOR).

Quando se observa os valores regionais, os índices de perda de água também são preocupantes, pois as regiões Norte e Nordeste apresentam os maiores percentuais, com valores respectivos de 50,8% e 45%. Nas regiões Sul (35,1%), Sudeste (33,4%) e Centro-Oeste (33,4%), embora os percentuais sejam menores do que nas duas regiões já citada, apresentam valores elevados quando comparados com a média de 15% de perdas para cidades com melhores índices de eficiência (SNIS, 2013). No tocante a região Nordeste, além de ter o segundo maior índice de perda de água do Brasil, possui elevado consumo per capita de água, mesmo tendo pouca disponibilidade (CAMBRAINHA; FONTANA, 2015). Os autores ainda afirmam que toda água encontrada nos estados nordestinos precisa ser utilizada de forma sustentável, para tanto, uma das maneiras mais emergentes de atender a este objetivo é reduzir as perdas decorrentes do abastecimento humano, desde a captação até o abastecimento.

Diante desta problemática, muitos trabalhos estão sendo desenvolvidos a fim de diagnosticar as perdas de água nas cidades brasileiras e identificar as principais causas. Assim, Lucatti e Kellner (2014) analisaram características físicas e locais de lotes urbanos e relacionaram com o consumo *per capita* de água, levando em consideração a área dos lotes, densidade bruta populacional, renda média domiciliar e consumo efetivo *per capita* de água. Já Pertel, Azevedo e Junior (2016) avaliaram indicadores operacionais, como: índice de micromedição, índice de perdas no faturamento, índice de perdas na distribuição e o índice de perda por ligação de 22 prestadoras regionais de serviços de saneamento no Brasil. Os

autores concluíram que o desempenho das prestadoras melhora quanto menor for a população. Por fim, Sobrinho e Borja (2016) também analisaram fatores que influenciam na qualidade da gestão de perdas de água em sistemas de abastecimento da Empresa Baiana de Águas e Saneamento (EMBASA) em Salvador. Os autores avaliaram os programas desenvolvidos para a redução dos índices de perdas de água e concluíram que mesmo com estes programas, os percentuais de perdas permaneceram elevados.

4. METODOLOGIA

4.1 DEFINIÇÃO DOS INDICADORES

4.1.1 INDICADORES TÉCNICOS

Os indicadores técnicos (Quadro 2) escolhidos para o estudo em questão foram o índice de micromedicação (IM), o índice de perdas no faturamento (IPF), o índice de perdas de água (IPA), o índice de perdas na distribuição (IPD) e o índice de volume distribuído por economia (IVDE), a fim de caracterizar as perdas oriundas do sistema de abastecimento de água. Os IM, IPF e IPD foram obtidos por meio do Sistema de Informações Operacionais (SIP), relatórios mensais emitidos pela COMPESA referentes ao abastecimento dos municípios pernambucanos.

Quadro 2. Indicadores utilizados na série histórica

Indicador	Abreviação	Definição	Unidade	Fórmula
Índice de perdas na distribuição	IPD	Índice referente à perda de água na etapa de distribuição	%	$IPD = \frac{VD - VDE}{VD} \times 100$
Índice de perda de água	IPA	Índice relacionado à perda de água total no sistema de distribuição	%	$IPA = \frac{VD - [CM + (CE \times K)]}{VD} \times 100$
Índice de perdas no faturamento	IPF	Índice referente à perda de água faturada	%	$IPF = \frac{VD - VF}{VD} \times 100$
Índice de micromedicação	IM	Percentual do quantitativo de volume distribuído em cada economia	%	$IM = \frac{CM}{CM + CE} \times 100$
Índice de volume distribuído por economia	IVDE	Percentual do volume de água que é distribuído para a população dos municípios	%	$IVDE = \frac{VDE}{VD} \times 100$

Legenda: VD – Volume distribuído (m³), CM – Consumo medido (m³), CE – Consumo estimado (m³), K – Coeficiente de correção de volume consumido estimado (1,8), VF – Volume faturado (m³), VDE – Volume distribuído por economia (m³).

4.1.2 INDICADORES SOCIOECONÔMICOS E CLIMÁTICO

Os indicadores socioeconômicos e climático (Quadro 3) selecionados foram: população abastecida (PA), renda média per capita municipal (RMPC), Produto interno bruto médio do município, densidade demográfica (DD), o índice de

desenvolvimento humano municipal médio (IDHM), consumo *per capita* de água (CPC) e a precipitação média do município (PRECIP). Os dados da PA foram obtidos dos SIP mensais da COMPESA. A RMPC, PIB, DD e IDHM foram oriundos da Base de Dados do Estado de Pernambuco (BDE/PE) e estão baseados no ano de 2010. Já os dados de PRECIP foram provenientes da Agência de Águas e Climas do Estado (APAC).

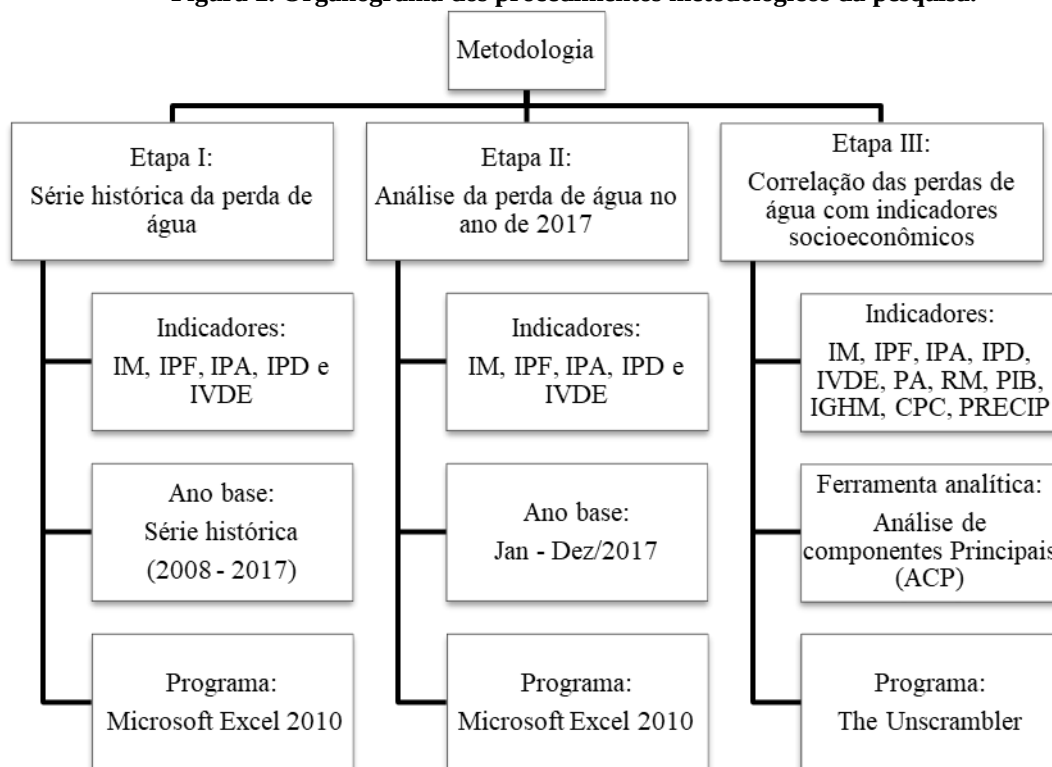
Quadro 3. Indicadores socioeconômicos e climático

Indicador	Abreviação	Definição	Unidade	Fonte
População abastecida	PA	População abastecida pelo sistema de abastecimento humano	hab.	SIP (2017)
Renda Média	RM	Indicador referente ao desenvolvimento econômico de uma região	R\$	IBGE (2010)
Produto interno bruto	PIB	Somatório de todos os bens e serviços finais produzidos por uma região em determinado período	R\$	IBGE (2010)
Índice de desenvolvimento humano municipal	IDHM	Classifica um município com base no grau de desenvolvimento humano	%	IBGE (2010)
Consumo per capita de água	CPC	Quantidade de água consumida por um habitante em um dia	m ³ / hab. dia	SIP (2017)
Precipitação	PRECIP	Fenômeno meteorológico referente à queda de água do céu	mm	APAC (2017)

4.1.3 ESTRUTURA METODOLÓGICA

A metodologia foi realizada em três etapas: série histórica de 10 anos dos indicadores técnicos de perdas de água, análise da perda de água no ano de 2017 e correlação dos indicadores técnicos e socioeconômicos (Figura 2). Os procedimentos metodológicos para cada etapa estão descritos a seguir.

Figura 2. Organograma dos procedimentos metodológicos da pesquisa.



Na primeira etapa foi realizada uma série histórica de 10 anos (2008 – 2017) dos dados técnicos. Foram utilizados os meses de junho e dezembro por serem os mais representativos para as duas principais estações climáticas da região: inverno e verão. Os indicadores IM, IPF, IPA, IPD e IVDE foram analisados neste período, com exceção do mês de dezembro dos anos de 2011 e 2012, pois não foram disponibilizados nos relatórios da COMPESA.

Já na segunda etapa foi realizada a análise dos indicadores técnicos-operacionais (IM, IPF, IPA, IPD e IVDE) para os meses de janeiro a dezembro de 2017. Estes foram resultantes da média mensal dos municípios compreendidos pela mesorregião da Zona da Mata.

Por fim, na terceira etapa foi realizada a análise de correlação dos dados técnicos com indicadores socioeconômicos e climático a fim de identificar os principais determinantes da perda de água nos sistema de abastecimento humano da Zona da Mata, como detalhado a seguir. Os indicadores técnicos e socioeconômicos utilizados nesta etapa foram os mesmos citados nos itens 4.1.1 e 4.1.2.

Para dar início a análise estatística, utilizou-se uma matriz de dimensão 32 x 11, referente à quantidade de municípios que compõem a região da Zona da Mata de Pernambuco juntamente com o número dos indicadores contemplados no estudo. Os dados do estudo foram previamente padronizados de acordo com o método Z-Score (Kreyszig, 1979; Jang et al., 2018) (Equação 1) para que tivessem a mesma média de escala (WANG et al., 2013).

$$Z = \frac{x - \mu}{\sigma} \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde: Z = escore padrão, x = Valor da variável não padronizada, μ = Média aritmética do indicador, σ = Desvio padrão do indicador.

Com o objetivo de determinar um padrão de correlação entre os indicadores socioeconômicos e climáticos com os índices de perdas de água na mesorregião da Zona da Mata, foi utilizado no estudo a Análise de Componentes Principais (ACP). Esta análise multivariada utiliza, paralelamente, todas as variáveis na interpretação teórica dos dados. De acordo com Hair et al. (2010), esta é um técnica de análise quantitativa exploratória e não confirmatória dos dados, porque os tratamentos das amostras em questão geram hipóteses e não respostas concretas.

A ACP, conhecida também como *Principal Component Analysys* (PCA) (HOTELLING, 1933), é uma ferramenta exploratória que proporciona uma análise multivariada de dados, sem perdas significativas das informações, gerando um padrão nos dados, de maneira que diferenças e semelhanças sejam destacadas (SANTO, 2012). A análise é baseada na conversão de uma matriz original N x P em uma matriz sintética, na qual N é o número de indivíduos e P é o conjunto de variáveis utilizadas. Consiste também na determinação de autovalores e autovetores e na obtenção de combinações lineares das variáveis originais, que são denominadas de Componentes Principais (CP) (BRO; SMILDE, 2014).

As CP são representadas por cargas fatoriais para cada variável presente na estrutura dos dados, chamados de autovetores. Cada componente acumula uma parte da variabilidade total, gerando uma estimativa da variância compartilhada por cada componente, chamada de autovalores (HAIR et al., 2009). Esta CP tem uma dimensão equivalente à matriz original, independência estatística, indivíduos similares agrupados e eliminação das variáveis originais com pouca informação.

Cada combinação linear maximiza a variabilidade dos dados deixados pela matriz anterior. Assim, a primeira componente (CP1) terá maior grau de explicabilidade dos dados da matriz original e a segunda componente (CP2) explicará o máximo da variância restante da CP1. A CP pode ser determinada por meio do algoritmo de variância-covariância (Σ) ou de correlação (R) (Soares et al., 2017). No presente estudo, utilizou-se a matriz de correlação, assim como feito por Agovino et al. (2014), para determinar os fatores determinantes das perdas de água oriundas dos sistemas de abastecimento humano dos municípios da Zona da Mata de Pernambuco.

A definição do número de CP utilizada foi de acordo com o critério de Jolliffe (1986), também reforçado por Mardia (1979), na qual foram selecionadas as CP que apresentassem variância total superior a 70%. As variáveis determinantes em cada CP foram definidas conforme realizado por Finkler et al. (2015) e foram selecionadas as que apresentaram cargas fatoriais (autovetores) superiores a 0,5. O método de validação utilizado foi o *leverage correlation*, de modo que a matriz de dados tivesse média igual a zero e desvio padrão igual a um. O círculo unitário foi método gráfico adotado para a análise de correlação, assim como feito por Jardim et al. (2014) e o programa estatístico utilizado foi o *The Unscrambler v. 9.7*.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

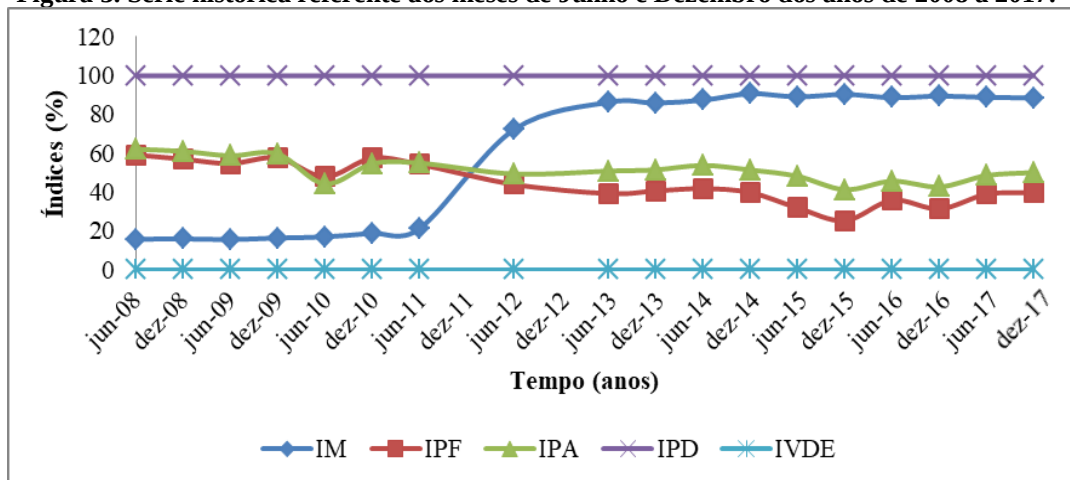
5.1 SÉRIE HISTÓRICA DOS DADOS TÉCNICOS

A série histórica dos dados técnicos dos meses de junho e dezembro de 2008 a 2017 está representada na tabela 1 e na figura 3.

Tabela 1. Valores da série histórica dos dados técnicos

TEMPO	IM	IPF	IPA	IPD	IVDE
jun/08	15,75	59,22	62,13	99,97	0,000336
dez/08	15,95	57,00	61,06	99,96	0,000384
jun/09	15,58	54,75	58,78	99,97	0,000329
dez/09	16,43	57,64	59,70	99,97	0,000328
jun/10	16,97	47,92	44,27	99,97	0,000305
dez/10	18,89	57,52	54,59	99,97	0,000313
jun/11	21,11	54,34	55,00	99,97	0,000262
jun/12	72,25	43,98	49,37	99,98	0,000227
jun/13	86,31	39,28	50,88	99,98	0,000241
dez/13	85,89	40,67	51,52	99,97	0,000293
jun/14	87,39	41,82	53,79	99,98	0,000206
dez/14	90,71	39,82	51,43	99,98	0,000241
jun/15	89,07	31,92	48,19	99,98	0,000199
dez/15	90,37	25,37	41,30	99,98	0,000192
jun/16	88,67	35,84	45,66	99,98	0,000212
dez/16	89,46	31,40	42,73	99,98	0,000203
jun/17	88,79	38,97	48,61	99,98	0,000217
dez/17	88,55	39,74	50,10	99,98	0,000205

Figura 3. Série histórica referente aos meses de Junho e Dezembro dos anos de 2008 a 2017.



De acordo com a figura 1, os valores do IM entre os anos de 2008 a 2011 foram inferiores a 25% e partir de 2012 houve um aumento significativo, ultrapassando os 70% e se mantendo relativamente constante no restante dos anos estudados. Isso se deve porque ao longo dos anos mais residências foram adquirindo registros de medição, equipamento responsável por regular a passagem da água, contabilizando o volume que está sendo consumido durante o mês.

Quanto ao IPF, houve uma diminuição gradativa ao longo anos, sofrendo uma queda maior a partir de junho de 2012, com algumas oscilações, chegando ao seu menor valor em dezembro de 2015, o que está relacionado ao aumento do IM, visto que houve um aumento da micromedição nas residências, possibilitando contabilizar mais fidedignamente o IPF da COMPESA na etapa de distribuição de água.

Já a série histórica do IPA mostrou-se semelhante ao IPF, com oscilações iniciais e apresentando valores superiores nos anos de 2011 a 2017. Esses dois índices apresentam uma curva semelhante porque estão totalmente relacionados entre si, tendo em vista que o IPA representa o percentual de água perdida e o IPF o percentual de faturamento perdido, ambos na etapa de distribuição. Os valores de IPD e IVDE sofreram poucas alterações, podendo-se considerar constantes ao longo dos 10 anos.

5.2 ANÁLISE DAS PERDAS DE ÁGUA EM 2017

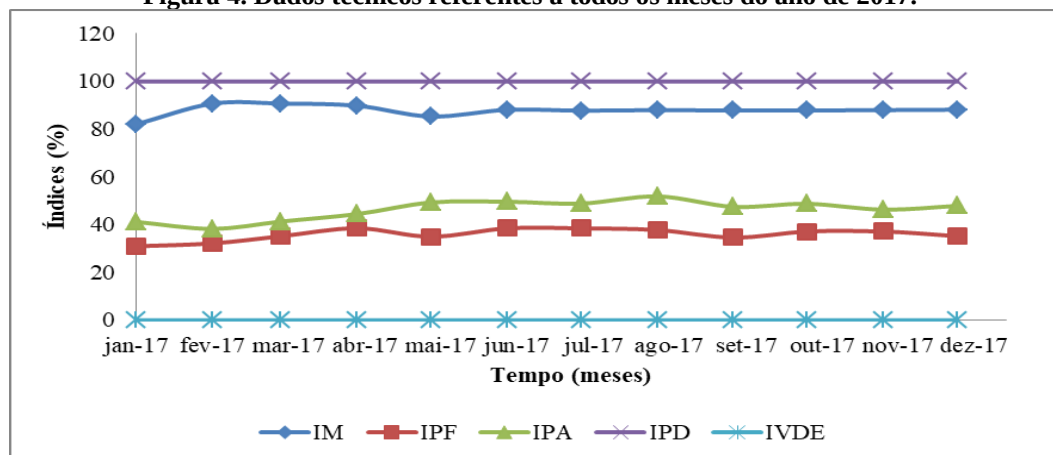
Os resultados dos índices técnicos referentes ao ano de 2017 estão mostrados na tabela 2 e na figura 4.

Tabela 2. Análise dos dados técnicos referentes ao ano de 2017.

TEMPO	IM	IPF	IPA	IPD	IVDE
jan/17	81,96	30,97	41,18	99,98	0,000166
fev/17	90,67	32,16	38,25	99,98	0,000185
mar/17	90,72	35,16	41,32	99,99	0,000137
abr/17	89,80	38,48	44,45	99,99	0,000149
mai/17	85,29	34,98	49,30	99,98	0,000238
jun/17	88,12	38,49	49,61	99,98	0,000217
jul/17	87,73	38,44	48,85	99,98	0,000212
ago/17	87,97	37,76	51,85	99,97	0,000252
set/17	87,82	34,60	47,49	99,98	0,000167
out/17	87,84	37,13	48,76	99,98	0,000193

nov/17	87,98	37,16	46,30	99,98	0,000183
dez/17	88,15	35,17	47,88	99,98	0,000205

Figura 4. Dados técnicos referentes a todos os meses do ano de 2017.



Assim como na série histórica (item 5.1), o IPD e o IVDE se mantiveram praticamente constantes no decorrer dos meses de 2017, sofrendo insignificantes alterações. O IM teve o um pico no mês de março, chegando a 90,72% e finalizando o ano com aproximadamente com 88,15%. Já o IPF e o IPA apresentaram séries quase semelhantes, devido ao mesmo motivo do item 5.1.

Os valores relativos ao IPA sofreram aumentos a partir de março, chegando ao maior resultado no mês de agosto, período que é considerado o mais chuvoso do ano, diminuindo mais uma vez, e chegando a 47,88% no mês de dezembro, mês em que se inicia o verão.

Já o IPF sofreu variações no decorrer do ano, alcançando valor máximo em junho, mês que o IPA teve redução. O IPF no final do ano de 2017 apresentou um valor de 35,17%, superior ao apresentado no início de 2017 (30,97%) e apresentou uma média de 35,87% neste mesmo ano. De acordo com Pertel, Azevedo e Junior (2016) a COMPESA apresentou, no ano de 2010, um IPF de 57,0% e um IM de 23,30% valores baseados em 173 municípios avaliados no estado de Pernambuco. Já a zona da mata pernambucana apresentou um IM de 87,84% e IPF de 35,87% no ano de 2017, expondo que os índices apresentados mostram-se melhores se comparados aos valores do estado em 2010.

É importante ressaltar que, segundo a FUNDACE (2013), os valores de IPF podem estar relacionados à dimensão e à qualidade dos serviços prestados pelas companhias responsáveis pelo abastecimento de água.

5.3 CORRELAÇÕES DAS PERDAS DE ÁGUA COM INDICADORES SOCIOECONÔMICOS E CLIMÁTICO

Por último, as tabelas 3 e 4 foram preparadas de acordo com o formato adequado para o programa *The Unscrambler*, responsável pela geração estatística das variáveis, com o objetivo de correlacionar as perdas de água com indicadores técnico-operacionais, socioeconômicos e climático com a média e o desvio padrão.

Tabela 3. Indicadores técnico-operacionais para os municípios da Zona da Mata de Pernambuco.

MUNICÍPIOS	INDICADORES				
	IM	IPF	IPA	IPD	IVDE
Aliança	-2,87	0,17	-0,66	0,16	-0,16
Barreiros	0,18	1,31	1,63	0,32	-0,32
Belém de Maria	-1,79	-0,43	1,22	-0,2	0,2
Buenos Aires	0,46	0,9	1,27	0,14	-0,14
Camutanga	1,11	-1,97	-2,6	0,03	-0,03
Carpina	-0,47	0,12	-0,1	0,36	-0,36
Chã de Alegria	0,52	-0,57	-0,66	0,12	-0,12
Chã Grande	0,96	-1,07	-0,35	0,22	-0,22
Condado	-0,61	0,01	-1,28	0,2	-0,2
Escada	-1,49	0,57	0,19	0,29	-0,29
Ferreiros	1,13	-0,79	-0,54	0,14	-0,14
Glória do Goitá	1,4	-1,24	-0,33	0,18	-0,18
Itaquitinga	-1,98	0,91	0,29	0,12	-0,12
Joaquim Nabuco	0,77	0,3	0,76	0,17	-0,17
Lagoa de Itaenga	0,6	-1,27	-1,02	0,25	-0,25
Lagoa do Carro	-0,28	0,05	-0,02	0,15	-0,15
Macaparana	0,75	-0,92	-1,55	0,25	-0,25
Maraial	0,47	0,24	0,77	-0,15	0,15
Nazaré da Mata	-0,43	0,09	0,02	0,31	-0,31
Paudalho	-0,59	1,2	0,66	0,31	-0,31
Pombos	1,15	-0,94	-0,33	0,29	-0,29
Primavera	0,14	0,74	1,09	0,03	-0,03
Quipapá	0,73	-1,69	-0,76	-5,51	5,51
Ribeirão	-0,37	0,04	0,06	0,31	-0,31
Rio Formoso	-0,7	1,97	1,31	0,32	-0,32
São Benedito do Sul	1,15	-1,24	-0,45	-0,06	0,06

S. José da C. Grande	-0,55	-0,2	-0,85	0,26	-0,26
Sirinhaém	-0,43	1,45	1,2	0,11	-0,11
Tamandaré	0,78	2,1	2,09	0,12	-0,12
Timbaúba	-0,57	0,44	0,24	0,34	-0,34
Vicência	0,44	0	-0,83	0,06	-0,06
Vitória de Sto. Antão	0,41	-0,29	-0,48	0,37	-0,37
MÉDIA	0	0	0	0	0
DESVIO PADRÃO	1	1	1	1	1

Tabela 4. Indicadores socioeconômicos e climático para os municípios da Zona da Mata de Pernambuco.

MUNICÍPIOS	INDICADORES					
	PA	RM	PIB	IDHM	CPC	PRECIP
Aliança	0,11	-0,33	0,07	0,09	-1,39	0,62
Barreiros	0,45	-0,47	0,13	-0,49	2,02	0,02
Belém de Maria	-0,74	-1,2	-0,69	-0,75	-1,39	0,09
Buenos Aires	-0,69	-0,65	-0,63	-0,27	1,94	-0,78
Camutanga	-0,82	-0,17	-0,95	0,15	-0,56	-0,72
Carpina	2,28	2,38	2,11	2,54	0,92	-1,05
Chã de Alegria	-0,66	-0,96	-0,65	0,09	-0,19	-1,05
Chã Grande	-0,47	1,12	-0,26	-0,07	-0,12	-0,74
Condado	-0,03	0,23	-0,22	0,02	-1,33	-0,32
Escada	1,43	0,73	1,12	0,99	-1,22	-0,03
Ferreiros	-0,65	0,52	-0,59	0,67	-0,01	1,13
Glória do Goitá	-0,36	-0,16	-0,14	0,09	0,11	0,66
Itaquitinga	-0,56	-0,71	-0,55	-0,49	0,18	2,35
Joaquim Nabuco	-0,56	-0,47	-0,53	-1,53	0,36	-0,27
Lagoa de Itaenga	-0,33	-0,68	-0,42	0,02	-0,35	-0,61
Lagoa do Carro	-0,49	-0,3	-0,51	0,25	-0,49	-0,5
Macaparana	-0,37	-0,15	-0,28	0,25	0,42	-0,59
Maraial	-0,74	-1,09	-0,67	-2,17	-0,87	-0,34
Nazaré da Mata	0,13	1,32	0,14	1,96	1,28	-0,75
Paudalho	0,49	1,5	0,92	1,22	1,25	3,87
Pombos	-0,23	0,34	-0,22	-0,11	0,63	0,91
Primavera	-0,69	-0,1	-0,57	-0,69	0,29	-0,28
Quipapá	-0,55	-1,43	-0,42	-1,59	-0,5	-0,65
Ribeirão	0,46	0,77	0,51	0,02	0,53	-0,5
Rio Formoso	-0,34	-0,45	-0,36	0,38	-1,4	0,48
São Benedito do Sul	-0,74	-2,19	-0,7	-2,3	-1,05	-0,43
S. José da C. Grande	-0,28	0,37	-0,39	0,22	0,17	-0,79
Sirinhaém	0,11	-0,25	0,16	-0,14	-1,48	-0,47
Tamandaré	0,23	0,3	-0,32	-0,27	-0,19	0,12
Timbaúba	0,94	0,66	0,79	0,54	1,58	-0,39

Vicência	-0,42	-0,81	-0,19	0,12	-0,57	0,77
Vitória de Sto. Antão	4,09	2,33	4,33	1,25	1,43	0,25
MÉDIA	0	0	0	0	0	0
DESVIO PADRÃO	1	1	1	1	1	1

Os dados das tabelas 3 e 4 mostrados acima foram correlacionados no software *The Unscrambler*, o que gerou na ordem em percentual das PC, indicando quais foram mais significativas, apresentando os níveis de explicabilidade. Os dados foram processados duas vezes. Na primeira vez o município de Quipapá apresentou um alto *leverage* e variância residual, não sendo muito bem explicado pelo *software*. Por isso os dados foram processados novamente sem este município, para uma representação mais fidedigna.

Na tabela de autovalores (Tabela 5) está representada a significância com que as PCs explicaram as variáveis estudadas num percentual de aproximadamente 70% (JOLLIFFE, 1986). Neste caso, as variáveis da pesquisa serão estudadas nas PCs 1, 2 e 3, atingindo um percentual de 75,78% de explicabilidade.

Tabela 5. Representação dos autovalores

Componentes principais	Variância explicada (%)	Variância acumulada
	EXPXCAL	EXPXVAL
PC 00	0.000	0.000
PC 01	39.327	20.768
PC 02	62.211	39.700
PC 03	75.780	51.541
PC 04	86.003	64.729
PC 05	92.552	78.462
PC 06	96.837	89.389
PC 07	98.478	92.051
PC 08	99.733	97.664
PC 09	99.889	98.428
PC 10	100.000	100.000
PC 11	100.000	m

Já na tabela dos autovetores (Tabela 6) estão fragmentadas as variáveis e sua respectiva PC, na qual será mais bem representada. Pode-se afirmar que as variáveis mais bem representadas são aquelas que apresentam valores superiores a 0,500 no autovetor. Os índices de IPD, PA, RM, PIB, IDHM, CPC e IVDE serão melhores ilustradas na PC 1. Já na PC 2 as variáveis que terão maior nível de

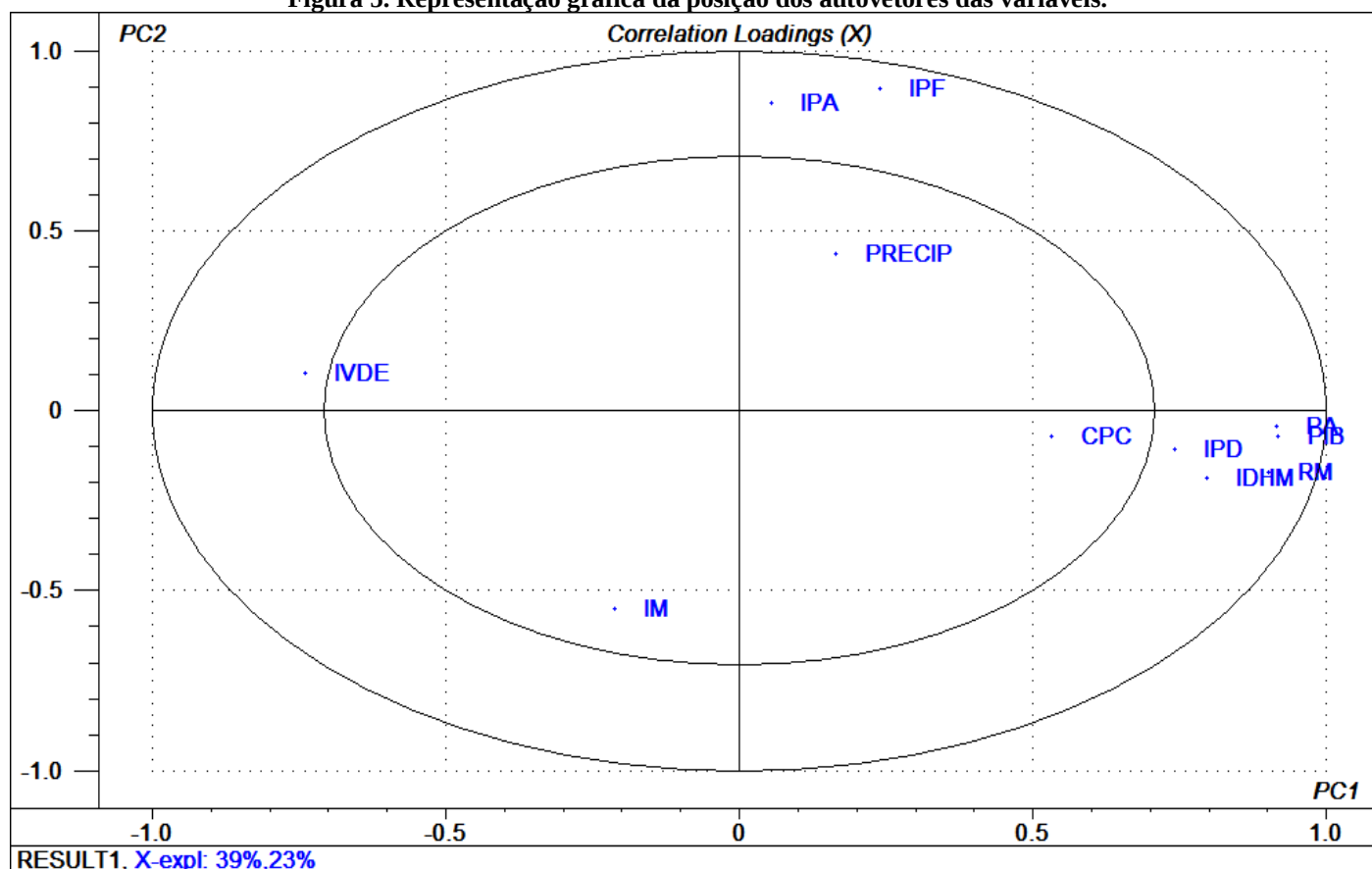
explicabilidade são IM, IPF e IPA. Por último, a PC 3 explicará o IM e reforçará o CPC, que por sua vez, também foi explicado na PC 1. A PRECIP foi muito bem explicada na PC 4, que não foi selecionada para estudo, por apresentar um percentual superior aos 70% de explicabilidade selecionado na pesquisa.

Tabela 6. Representação dos autovetores.

Indicadores	Componentes Principais		
	1	2	3
IPD	0,741	-0,10600	- 0,093500
PA	0,915	-0,04435	0,05249
RM	0,902	-0,169	-0,00765
PIB	0,917	-0,07074	0,0491
IDHM	0,796	-0,187	0,221
CPC	0,532	-0,07147	-0,686
IVDE	-0,741	0,106	0,09354
IM	-0,212	-0,550	-0,689
IPF	0,240	0,894	-0,129
IPA	0,05418	0,854	-0,405

De acordo com os dados das Tabelas 5 e 6 foi possível representar graficamente (Figura 5) a correlação das variáveis a partir das suas interações. Corroborando com o apresentado nas tabelas 5 e 6, a figura apresenta a posição de cada variável de acordo com seus autovetores, posicionando-as em seus respectivos eixos de PC. Na figura 3 é possível perceber que os valores de IM e IVDE apresentaram padrão de correlação negativo nos municípios estudados. Assim, nos municípios onde houve maior IM, o IVDE foi mais baixo.

Figura 5. Representação gráfica da posição dos autovetores das variáveis.

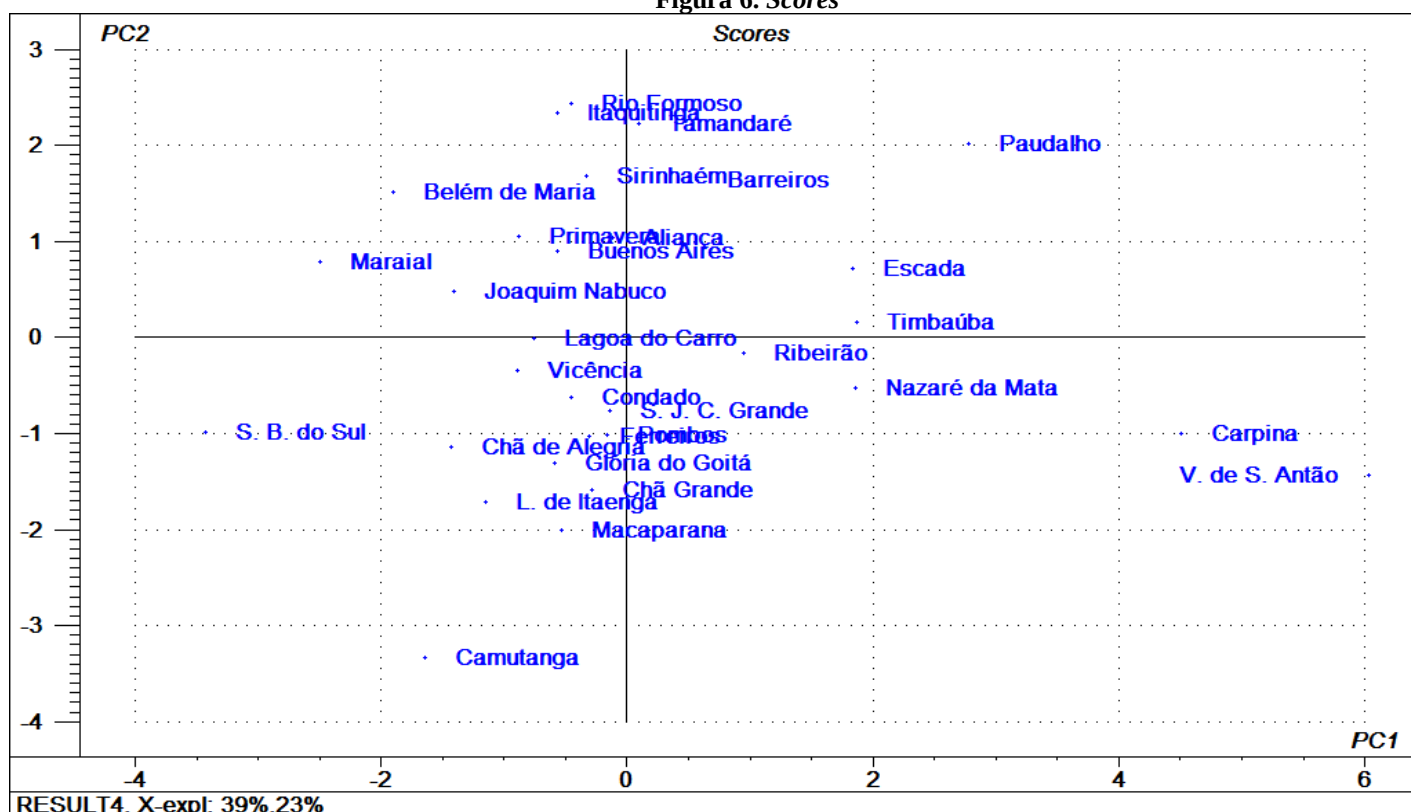


É possível analisar também que o CPC, IPD, IDHM, PA, PIB e RM se correlacionaram positivamente. Deste modo, nos municípios que apresentam maiores valores de renda média, índice de desenvolvimento humano médio e PIB, terão, consequentemente, uma quantidade maior de população abastecida, acarretando em maiores valores de consumo per capita, porém, também apresentarão valores mais acentuados de perda na distribuição. De acordo com a figura 7 é possível constatar que a classe econômica da população interfere no consumo de água e, consequentemente, nas suas perdas.

Para Carmo et al. (2013) existe uma correlação significativa entre a renda per capita e o consumo de água per capita para as capitais brasileiras nos anos de 2000 a 2010, ou seja, as capitais que apresentam alta renda per capita também apresentam um alto consumo de água, e vice-versa, como também afirma Von Sperling (2002), que explica que este fato ocorre porque quanto mais elevado é o poder econômico, maior será o consumo de água devido à utilização de equipamentos como máquinas de lavar roupas, pratos, automóveis e manutenção de piscinas, por exemplo.

A figura 6 mostra os *scores*, que representam a correlação entre os municípios e os indicadores utilizados na análise estatística. É possível perceber que os municípios de São Benedito do Sul, Camutanga, Carpina, Vitória de Santo Antão e Paudalho foram os municípios que mais apresentaram disparidades em relação aos outros municípios da zona da mata. Mesmo apresentando essas pequenas disparidades, é possível perceber que todos os municípios estudados na zona da mata conseguiram ser bem representados graficamente pela análise do modelo matemático.

Figura 6. Scores



6 CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos permite-se concluir que os indicadores técnico-operacionais (IM, IPF, IPA, IPD e IVDE) estão relacionados com o nível de eficiência dos sistemas de distribuição e abastecimento humano no que diz respeito às perdas de água pela COMPESA e se correlacionam com os fatores socioeconômicos (PA, RM, PIB, IDHM e CPC) e o indicador climático (PRECIP), sofrendo mudanças no índice de perdas de acordo com a diferença das correlações dos indicadores que variam conforme o município.

Segundo a análise dos dados, observa-se que as condições sociais dos municípios, ou seja, a renda média, o PIB e IDHM interferem diretamente nas perdas de água, apresentando maiores índices de consumo e perda de água os municípios que apresentam maiores valores de RM, PIB e IDHM.

Desse modo, é imprescindível que se realizem estudos sobre as particularidades de cada um desses indicadores aplicados a cada município em seus sistemas de distribuição para que seja possível quantificar de maneira mais aproximada o valor dessas perdas. Também é relevante a criação de programas que melhorem o sistema de abastecimento da COMPESA, de modo que a quantidade de perdas de água seja a menor possível. Além disso, se faz necessário um regime de fiscalização em torno dos principais pontos de perdas, no tocante a ligações clandestinas, reduzindo as perdas quantitativas e financeiras da companhia.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGOVINO, M.; PARODI, G.; SÀNCHEZ BARAJAS, G. **An analysis od disabled people and the labor market in Mexico.** *Latin Am. Res. Rev*, v. 49, n. 2, 2014, p. 221–242.

APAC. **Boletins Climáticos.** Disponível em <
http://www.apac.pe.gov.br/meteorologia/boletins_climaticos_old.php>. Acesso em 05 ago de 2018.

BDE. **Índice de Desenvolvimento Humano Municipal.** Disponível em <
http://www.bde.pe.gov.br/visualizacao/Visualizacao_formato2.aspx?CodInformacao=785&Cod=3>. Acesso em 13 jul de 2018.

BDE. **Produto Interno Bruto - PIB per capita.** Disponível em <
http://www.bde.pe.gov.br/visualizacao/Visualizacao_formato2.aspx?CodInformacao=1294&Cod=3>. Acesso em 13 jul de 2018.

BDE. **Renda per capita.** Disponível em <
http://www.bde.pe.gov.br/visualizacao/Visualizacao_formato2.aspx?CodInformacao=788&Cod=3>. Acesso em 13 jul de 2018.

BRO, R.; SMILDE, A.K. **Principal component analysis.** *Analytical Methods*, v. 6, 2014, p. 2812-2831.

CAMBRAINHA, G. M. G.; FONTANA, M. E. Análise da aplicação de investimentos em perdas de água no nordeste brasileiro. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental Santa Maria**, v. 19, n. 02, p. 983-994, 2015.

CARMO, R. L.; DAGNINO, R. S.; FEITOSA, F. F.; JOHANSEN, I. C.; CRAICE, C. **População e consumo urbano de água no Brasil: Interfaces e desafios.** In: XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Bento Gonçalves, 2013.

Companhia Pernambucana de Saneamento - COMPESA. **Programa de trabalho para estruturação e modernização da gestão operacional das localidades beneficiadas pelo sistema Sul – Pirapama**. 2010. Disponível em: <<http://docplayer.com.br/8196777-Programa-de-trabalho-para-estruturacao-e-modernizacao-da-gestao-operacional-das-localidades-beneficiadas-pelo-sistema-produtor-sul-pirapama.html>> Acesso em 09 ago. 2018.

FINKLER, N. R.; PERESIN, D.; COCCONI, J.; BORTOLIN, T. A.; RECH, A.; SCHNEIDER, V. E.; Qualidade da água superficial por meio de análise do componente principal. **Rev. Amb. Água**, v. 10, n. 4, p. 784-792, 2015.

FUNDACE. **PERDAS DE ÁGUA: ENTRAVES AO AVANÇO DO SANEAMENTO BÁSICO E RISCOS DE AGRAVAMENTO À ESCASSEZ HÍDRICA NO BRASIL..** Disponível em <<http://tratabrasil.org.br/datafiles/uploads/perdas-de-agua/estudo-completo.pdf>>. Acesso em 07 ago. 2018.

HAIR, J. F. et al. **Análise multivariada de dados**. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.

HAIR, J. F.; BLACK, W. C.; BABIN, B. J.; ANDERSON, R. E. **Multivariate Data Analysis**. Pearson, Ed. 2010.

HOTELLING, H., 1933. Analysis of a Complex of Statistical Variables into Principal Components, **Journal of Educational Psychology**, v. 24, p. 417-441 and 498-520.

IBGE Cidades – **Panorama Pernambuco**. Disponível em <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/panorama>>. Acesso em 10 jun. de 2018.

IBGE. **Estimativas de população para 31 de outubro de 2017**. Disponível em <https://ww2.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/estimativa2017/estimativa_tcu.shtm>. Acesso em 10 jun. 2018.

JANG, D.; PARK, H.; CHOI, G. **Estimation of Leakage Ratio Using Principal Component Analysis and Artificial Neural Network in Water Distribution Systems. Sustainability**, v. 10, n. 750, 2018.

JARDIM, F. A. et al. Fatores determinantes das florações de cianobactérias na água do Rio Doce, Minas Gerais, Brasil. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**. v. 19, n. 3. 2014.

JOLLIFFE, I.T. **“Principal Component Analysis”**, Springer-Verlag, 1986.

Kreyszig, E. **Advanced Engineering Mathematics**, 4th ed.; John Wiley & Sons Inc.: Hoboken, NJ, USA, 1979.

LUCATTI, T. B. M.; KELLNER, E. Correlação entre as características físicas e locais dos lotes e o consumo efetivo de água: análise do sistema de abastecimento da cidade de São Carlos (SP). **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, v. 02, n. 09, 2014.

MARDIA, K. V.; KENT, J. T.; BIBBY, J. **Multivariate analysis**. London: Academic, 1979.

NETO, J. G. da S.; BEZERRA, S. de T. M. **Balanço hídrico de sistemas de abastecimento de água: aplicação prática em municípios do agreste pernambucano**. In: XXIII CONIC, VII CONITI, IV ENIC – UFPE, 2015, Recife. Anais... Recife, UFPE, 2015.

PERTEL, M.; AZEVEDO, J.P.S.; VOLSCHAN, J. I. Uso de indicadores de perdas para seleção de um *benchmarking* entre as companhias estaduais de serviço de distribuição de água no Brasil. **Eng Sanit Amb**, v.21, n.1, 2016, p. 159-168.

SANTO, R. E. **Utilização da Análise de Componentes Principais na compressão de imagens digitais**. Einstein, v. 10, n. 2, p. 135-139, jun. 2012.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. Disponível em: < <http://www.snis.gov.br/>> Acesso em: 10/08/2018.

SOARES, M.A.R.; QUINA, M.J.; REIS, M.S.; QUINTA-FERREIRA, R. (2017) **Assessment of co-composting process with high load of an inorganic industrial waste**. Waste Management, v. 59, p 80–89.

SOBRINHO, R. A.; BORJA, P. C. Gestão das perdas de água e energia em sistema de abastecimento de água da Embasa: um estudo dos fatores intervenientes na RMS. **Eng Sanit Amb**, local, v.21, n.4, 2016, p. 783-795.

TRATA BRASIL. **Perdas de água na distribuição: causas e consequências. Saiba mais!**. Novembro de 2017. Disponível em <<http://www.tratabrasil.org.br/blog/2017/11/16/perdas-de-agua-causa-e-consequencias/>>. Acesso em 24 ago.2018.

TRATA BRASIL. **Perdas de Água: Desafios ao Avanço do Saneamento Básico e à Escassez Hídrica**. São Paulo, 2015. Disponível em: < <http://www.tratabrasil.org.br/datafiles/estudos/perdas-de-agua/Relatorio-Perdas-2013.pdf> > Acesso em 17 jul. 2018.

VON SPERLING, M.; SANTOS, A. S. P.; MELO, M. C.; LIBÂNIO, M. **Investigação de fatores de influencia no consumo per capita de água em estados brasileiros e em cidades de Minas Gerais**. In: VI Simpósio Italo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Vitória, 2002.

WANG, H.; SHANGGUAN, L.; WU, J.; GUAN, R. **Multiple linear regression modeling for compositional data**. *Neurocomputing*, v. 122, 2013, p. 490–500.

WIKIPEDIA. **Mesorregião da Mata Pernambucana**. Disponível em: <
http://www.wikiwand.com/pt/Mesorregião_da_Mata_Pernambucana >
Acesso em: 15 jul. 2018.